

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА ПОМЕЩЕНИЙ В СРЕДЕ MATHCAD

Предлагается рассчитывать мощность дозы гамма-излучения внутри помещения путем суммирования дискретных значений мощности от отдельных строительных блоков с одновременным учетом их геометрического расположения в строительной конструкции и ослабления, вносимого материалом. Приводится универсальная математическая модель, компьютерная программа в среде Mathcad, трехмерные графики расчетных значений мощности дозы вблизи отдельных стен (перегородок), перекрытий и внутри помещения, выполненных из материалов с различной активностью.

1. Введение

Радиация является одной из форм физического загрязнения среды обитания человека, роль которой трудно переоценить. В течение долгих лет промышленность строительных материалов была ориентирована на выпуск материалов и изделий, отвечающих требованиям массового автоматизированного производства, индустриального применения, минимальной себестоимости и необходимого качества готовой продукции. При этом из поля зрения выпадали вопросы безопасности строительных материалов.

Радиационное воздействие строительных материалов на людей заставило по-новому оценить их с экологической точки зрения. Современные нормативные требования, предъявляемые к материалу, учитывают биологическое воздействие радионуклидов на организм человека и ограничивают их удельную активность [1]. Однако, как показала практика, уровни радиации, вызванные активностью строительных материалов и измеренные с высокой точностью в различных точках одного помещения, могут отличаться в несколько раз. Например, на поверхности стены уровень радиации выше, чем в середине помещения. В зависимости от расположения рабочего места внутри производственного помещения человек за время длительного стажа может получить различные дозы облучения. Существующие методики расчета, основанные на эмпирических данных, позволяют получить лишь усредненное значение уровня радиации внутри помещения [2;3] и тем самым не дают возможности учитывать и оценивать дозы в различных местах дифференцированно. Этим объясняется *актуальность* проблемы. Не менее актуальна она для бытовых помещений, где люди проводят большую часть времени. Особую важность она представляет для здоровья матери и ребенка, особенно на стадии внутриутробного развития. Актуальность подтверждается еще тем, что, согласно [1], допустимая поглощенная доза для беременных женщин из числа персонала занижена в двадцать раз.

Цель исследования состоит в разработке математической модели радиационного фона помещений, вызванного активностью его строительных материалов. Эта модель позволит оценивать поглощенную дозу еще на стадии проектирования зданий и сооружений, а также определять места с минимальным уровнем радиации для оптимального размещения рабочих мест, мест отдыха и т.д.

При этом необходимо решить следующие задачи:

1. Составить математическую модель радиационного фона, создаваемого материалом плиты с заданными размерами, в определенной точке пространства с учетом затухания.
2. Составить математическую модель и компьютерную программу расчета радиационного фона в среде Mathcad, создаваемого одиночной плитой, в заданной плоскости. При этом заданная плоскость, в которой рассчитывается мощность дозы, может быть параллельна или перпендикулярна к плите.
3. Составить универсальную математическую модель и компьютерную программу расчета радиационного фона в среде Mathcad, создаваемого всеми плитами помещения (перекрытиями, стенами и перегородками), в заданной плоскости. При этом помещение имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Плиты могут быть выполнены из материалов с различной активностью.

2. Математическая модель радиационного фона плиты в заданной точке

Рассмотрим в прямоугольной системе координат XYZ плиту из однородного изотропного материала, в котором равномерно распределено радиоактивное вещество (рис 1). Выделим в ней элементарный объем dV . Будем учитывать только гамма-излучение. Не будем учитывать время радиоактивного распада, радиационный фон от других источников, интерференцию полей от разных элементарных объемов плиты, а также эксхалацию радона и других продуктов распада.

Мощность дозы гамма-излучения (плотность потока энергии), создаваемого точечным источником (элементарным объемом dV) в пространстве, обратно пропорциональна квадрату расстояния до него (рис. 2). На поверхности сферы радиусом R_1 она равна:

$$P_{R1} = \frac{W}{4\pi R_1^2}, \quad (1)$$

где W – мощность излучения (поток энергии).

Аналогично, мощность дозы гамма-излучения на поверхности сферы радиусом R_2 равна:

$$P_{R2} = \frac{W}{4\pi R_2^2}. \quad (2)$$

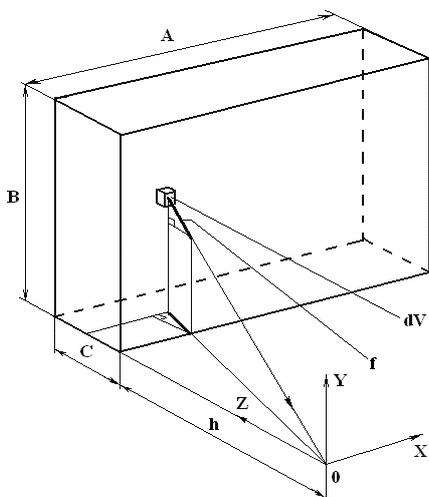


Рис. 1. Плита в системе

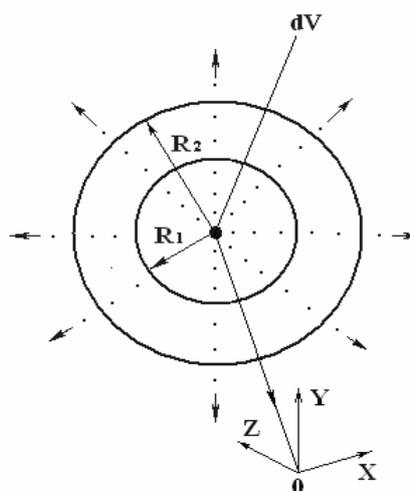


Рис. 2. Распределение энергии излучения координат XYZ точечного источника в пространстве

Решая уравнения (1) и (2) совместно, получаем:

$$P_{R2} = \frac{P_{R1} R_1^2}{R_2^2}. \quad (3)$$

Таким образом, если известно значение мощности дозы гамма-излучения на определенном расстоянии от точечного источника, можно рассчитать ее значение на любом большом расстоянии. В начале прямоугольной системы координат 0 оно будет равно:

$$P_0 = \frac{P_{R1} R_1^2}{X^2 + Y^2 + Z^2}, \quad (4)$$

где P_{R1} – измеренное значение мощности дозы гамма-излучения на расстоянии R_1 от источника dV ; X ; Y ; Z – координаты источника ($X \neq 0$; $Y \neq 0$; $Z \neq 0$).

Мощность дозы гамма-излучения, с учетом ослабления в толщине материала, равна:

$$P_{dV} = P_{R1} R_1^2 \frac{1}{(X^2 + Y^2 + Z^2) 2^{f/d_{\text{пол}}}}, \quad (5)$$

здесь f – толщина материала плиты, которую преодолевает луч от точечного источника dV до начала координат 0:

$$f = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \left(\frac{Z-h}{Z} \right), \quad (6)$$

h – расстояние между началом координат 0 и плитой; $d_{\text{пол}}$ – толщина половинного ослабления материала плиты.

Для решения поставленной задачи предлагается условно разделить плиту на конечное число единичных элементов (дискретных источников). Все линейные размеры далее приведены в относительных единицах (отношение размера плиты к соответствующему размеру элемента). Мощность дозы будет равна сумме соответствующих значений от отдельных элементов:

$$P_{0\Sigma} \approx PR^2 \sum_{x=1}^k \sum_{y=1}^m \sum_{z=1}^{l+n} \frac{1}{(x^2 + y^2 + z^2) 2^{g/d}}, \quad (7)$$

где P – значение мощности дозы гамма-излучения на расстоянии R от одиночного элемента; k , m , n – размеры плиты в относительных единицах вдоль соответствующих координат x , y , z ($k \neq 0$, $m \neq 0$, $n \neq 0$); l – расстояние между началом координат 0 и плитой ($l \neq 0$); g – толщина материала плиты, которую преодолевает луч от единичного элемента до начала координат 0; d – толщина половинного ослабления:

$$g = \left(\frac{z-l}{z} \right) \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (8)$$

Точность результата может повышаться путем увеличения количества единичных элементов, размер которых при этом будет уменьшаться.

Для решения данной задачи должны быть известны значения P , R и d . С практической точки зрения их измерение сложности не вызывает.

Деление плиты на единичные элементы может быть не только условным, но и реальным. Реальными единичными элементами можно считать кирпичи, блоки и кафельную плитку.

3. Математическая модель и компьютерная программа расчета радиационного фона одиночной плиты в заданной плоскости

Решение данной задачи сводится к вычислению мощности дозы в точках заданной плоскости с координатами x_0 ; y_0 ; z_0 . Выражение для вычисления мощности дозы гамма-излучения в плоскости, перпендикулярной к плите, приобретает следующий вид:

$$N_{\text{пл}} \approx PR^2 \sum_{x=k}^{k+n} \sum_{y=l}^m \sum_{z=1}^1 \frac{1}{((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2) 2^{c/d}}, \quad (9)$$

$$c = \left(\frac{x-k}{x-x_0} \right) \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2} \quad (10)$$

На рис. 3 показана компьютерная программа в среде Mathcad для расчета мощности дозы. Операторы «for x ∈ 1..k-1» и «for z ∈ 1..l-1» [4] задают циклы для изменения координат точек плоскости в заданных пределах.

```

k := ■    l := ■    m := ■    y0 := ■    d := ■    P := ■    R := ■    n := ■
N :=
  for x0 ∈ 1..k-1
  for z0 ∈ 1..l-1
    L_{x0,z0} ← ∑_{y=1}^m ∑_{z=1}^l ∑_{x=k}^{k+n}  $\frac{P \cdot R^2}{\left[ \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2} \right] \cdot (x-k) \cdot \left[ (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 \right] \cdot 2}$ 
  L

```

Рис. 3. Компьютерная программа для расчета радиационного фона в плоскости, перпендикулярной к плите

Графики, полученные в результате расчета и соответствующие данной программе, приведены на рис. 4. На графиках видно, что при удалении от плиты мощность дозы постепенно снижается. Во втором случае ее значения выше, чем в первом, при тех же координатах. Это объясняется большей массой (толщиной) плиты.

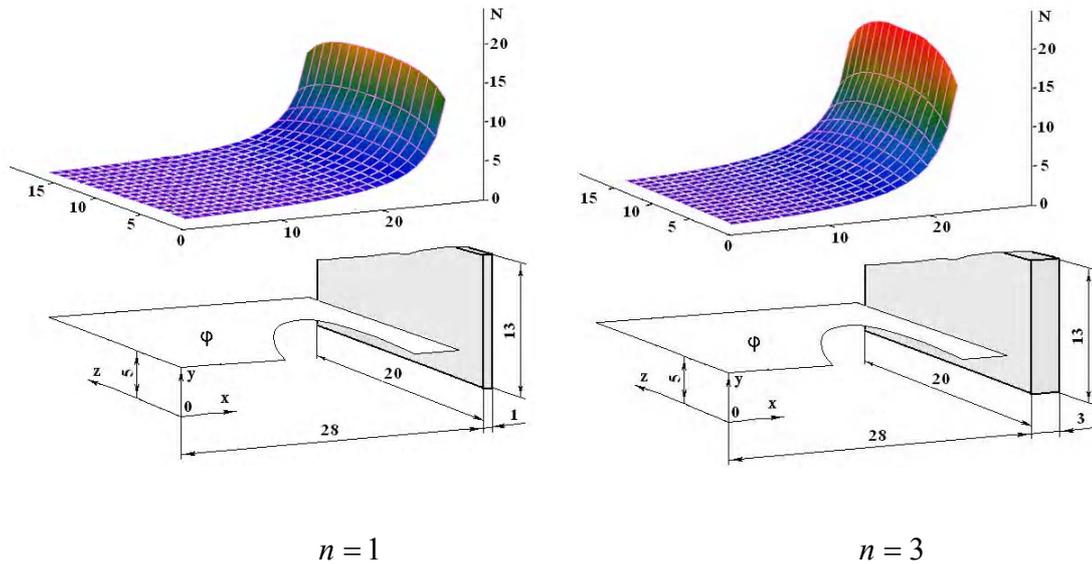


Рис. 4. Радиационный фон в плоскости, перпендикулярной к плите (P = 1; R = 1; d = 6)

На рис. 5 приведены графики мощности дозы в плоскости, параллельной плите. Математическая модель и компьютерная программа аналогичны (в данной статье не приведены). Отличие заключается в пределах суммирования, которые определяются размерами плиты и ее расположением в данной системе координат. Из графика видно, что во втором случае значения мощности дозы выше. Это объясняется большей активностью материала плиты.

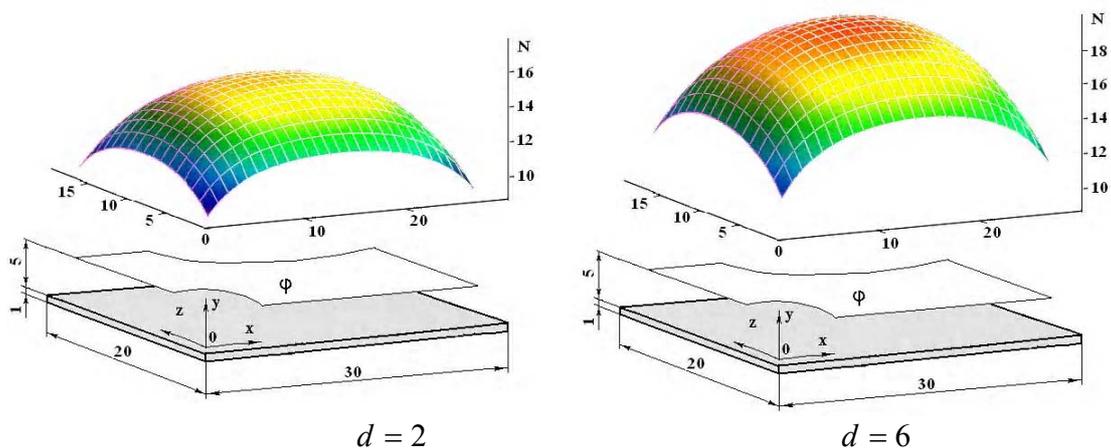


Рис. 5. Радиационный фон в плоскости, параллельной плите (P = 1; R = 1)

4. Математическая модель и компьютерная программа расчета радиационного фона помещения в заданной плоскости

Математическая модель аналогична модели (9) с той лишь разницей, что одновременно учитывает наличие шести плит.

Расположение начала координат в данной задаче принципиального значения не имеет. Оно может находиться как внутри помещения, так и за его пределами. В последнем случае появятся дополнительные величины - расстояния от начала координат до базовых поверхностей, в качестве которых целесообразно выбирать поверхности плит.

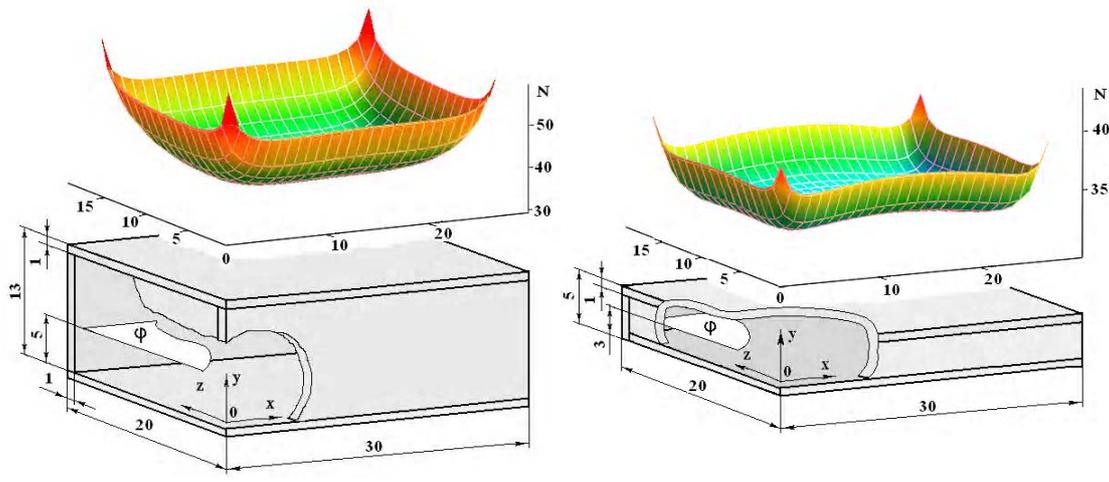
Применение среды Mathcad в данной работе вызвано ее широким распространением и доступностью для различных специалистов, не имеющих профессиональной подготовки в области программирования. Это дает возможность проверить и при необходимости внедрить в своей работе компьютерные программы, приведенные в данной статье.

Компьютерная программа приведена на рис. 6.

$$\begin{aligned}
 & d := \dots \quad k := \dots \quad l := \dots \quad m := \dots \quad n := \dots \quad y0 := \dots \quad P := \dots \quad R := \dots \\
 N := & \left[\begin{array}{l} \text{for } x0 \in 1..k-2n-1 \\ \text{for } z0 \in 1..1-2n-1 \\ L_{x0,z0} \leftarrow \sum_{x=-n}^{k-n} \sum_{z=-n}^{1-n} \left[\sum_{y=m}^{m+n} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (y-m) \cdot d} + \right. \\ \left. + \sum_{y=-h}^{-1} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (y) \cdot d} \right] + \\ + \sum_{y=1}^m \sum_{z=1}^{1-2n} \left[\sum_{x=k-2n}^{k-n} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (x-k+2n) \cdot d} + \right. \\ \left. + \sum_{x=-n}^{-1} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (x-x0) \cdot d} \right] + \\ + \sum_{x=-n}^{k-n} \sum_{y=1}^m \left[\sum_{z=-n}^{-1} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (z-z0) \cdot d} + \right. \\ \left. + \sum_{z=1-2n}^{1-n} \frac{P \cdot R^2}{\left[\sqrt{(x-x0)^2 + (y-y0)^2 + (z-z0)^2} \right]_2 \cdot (z-1+2n) \cdot d} \right] \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

Рис. 6. Компьютерная программа для расчета радиационного фона внутри помещения

На рис. 7 приведены графики мощности дозы гамма-излучения внутри помещения. Материалы всех плит имеют одинаковую активность (одинаковый материал). Во втором случае вертикальные плиты имеют меньшую высоту, что обычно наблюдается в помещениях подвалов и технических этажей.



$$m=13m=5$$

Рис. 7. Радиационный фон внутри помещения (одинаковый материал; $P=1$, $R=1$)

На рис. 8 приведены графики мощности дозы гамма-излучения внутри помещения для плит, выполненных из материалов с различной активностью.

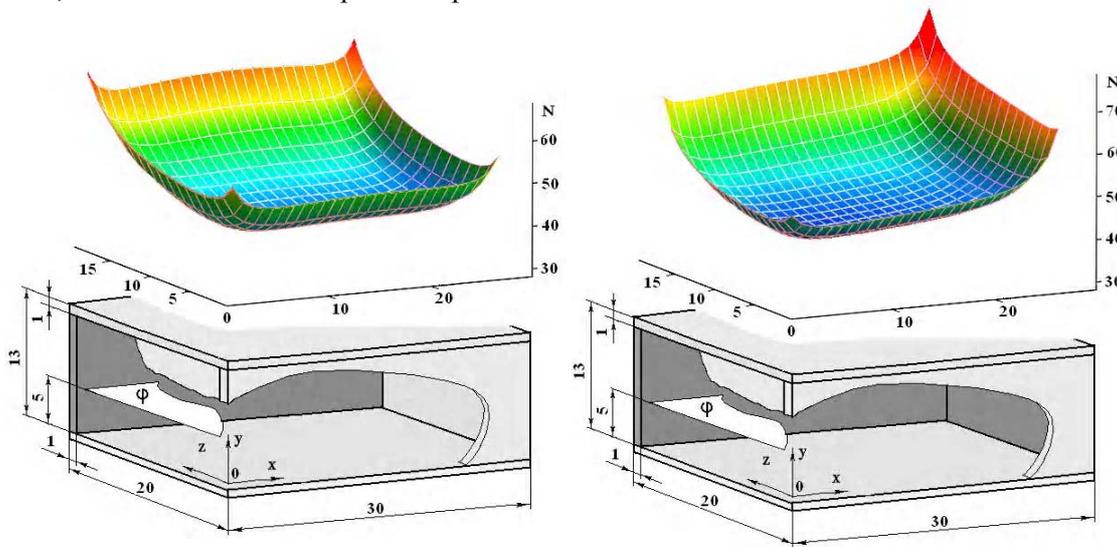


Рис. 8. Радиационный фон внутри помещения (для затемненных плит: $P = 2$; $R = 1$; для остальных: $P = 1$; $R = 1$)

Выводы

Наряду с существующей моделью расчета мощности дозы гамма-излучения внутри помещения стала очевидной необходимость разработки более точной модели, которая позволяет рассчитывать значения в отдельных местах. В результате проделанной работы поставленные задачи решены.

Научная новизна заключается в получении более точной математической модели, которая позволяет рассчитывать значения мощности дозы гамма-излучения в заданных точках одного помещения. Модель основана на суммировании дискретных значений мощности от отдельных строительных блоков с одновременным учетом их геометрического расположения в строительной конструкции и ослабления, вносимого материалом. Впервые

получены трехмерные графики радиационного фона в заданной плоскости возле отдельной плиты и внутри помещения.

Практическая значимость состоит в возможности более точной оценки доз облучения человека на этапе проектирования зданий промышленного и бытового назначения, что даст возможность оптимального размещения рабочих мест и мест отдыха.

Список литературы: 1. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)*. 2. *Крисяк Э.М.* Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989. 120 с. 3. *Анисимова Н.П., Бондарева Н.С., Будаговский С.С. и др.* Радиационное качество строительных материалов, производимых в районах Брянской области, пострадавших от аварии на ЧАЭС. Реабилитация застроенных территорий с повышенной радиоактивностью: Тезисы докладов научно-технической конференции. Брянск. 1994. С. 11–13. 4. *Гурский Д., Турбина Е.* Вычисления в MATHCAD 12. М.: Питер, 2006. 544 с.

Поступила в редколлегию 11.03.2009

Дзюндзюк Борис Васильевич, д-р техн. наук., зав. кафедрой «Охрана труда» ХНУРЭ. Научные интересы: безопасность эргатических систем. Увлечения: музыка, садоводство, охота. Адрес: Украина, 61166, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-60.

Мамонтов Александр Викторович, ст. пр. кафедры «Охрана труда» ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация защиты от радиации, вибрации и шума. Увлечения: музыка, садоводство, фото- и видеосъемка. Адрес: Украина, 61166, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-60.

Рось Валентин Анатольевич, ассистент кафедры «Охрана труда» ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизация прогнозирования ЧС. Увлечения: музыка, садоводство, фото- и видеосъемка. Адрес: Украина, 61166, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-60.